



30 Unionspriorität:
01/09888 25. 07. 2001 FR

71 Anmelder:
Socomec S.A., Benfeld, FR

74 Vertreter:
Lorenz und Kollegen, 89522 Heidenheim

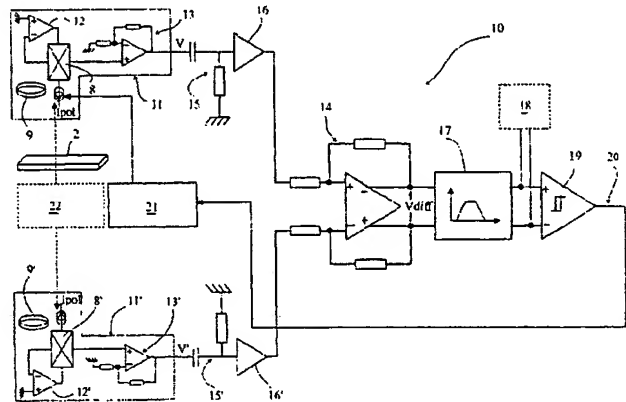
72 Erfinder:
Frick, Vincent, Strasbourg, FR; Hebrard, Luc,
Strasbourg, FR; Poure, Philippe, Strasbourg, FR

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Halleffektmessvorrichtung zum Messen der Intensität eines elektrischen Stromes

57 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Halleffektmeßvorrichtung zum Messen der Intensität eines elektrischen Stromes, die wirtschaftlich, leicht einsetzbar ist und die Durchführungen zuverlässiger Intensitätsmessungen mit großer Genauigkeit ermöglicht, die unempfindlich gegen Gleichtaktfelder und auf mehrere Intensitätsgrößen einstellbar ist.

Die Meßvorrichtung (1) weist zwei Meßmodule (11, 11') auf, wovon jedes mit mindestens einem Halleffektsensor (8, 8') versehen ist und die Module beiderseits eines von einem zu messenden elektrischen Strom durchlaufenden elektrischen Leiters (2) angeordnet sind und die so angeordnet sind, daß sie jeweils eine Spannung (V, V') mit entgegengesetztem Vorzeichen bereitstellen. Sie weist ein Verstärkungs-Differentialmodul (14) auf, das die zwei Spannungen (V, V') empfängt und eine Differentialspannung (V_{diff}) bereitstellt, die in einem Verarbeitungsmodul (18) verarbeitet wird. Sie weist ein Ausgleichsmodul (20) auf, das eines der Meßmodule (11, 11') korrigiert, so daß V_{diff} gleich Null ist, wenn die Halleffektsensoren (8, 8') einer selben Polarität mit demselben Vorzeichen ausgesetzt werden, das von zwei in Reihe geschalteten Spulen (9, 9') induziert wird, die von einem selben Strom versorgt werden. Sie weist auch ein Kalibrierungsmodul (22) auf, das die Korrektur der Spannungen (V, V') eines selben Kalibrierungskoeffizienten (Kcal) ermöglicht, um für eine zuvor festgelegte Intensität eine Differentialspannung zu erhalten, die einem ...



[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Halleffektmeßvorrichtung zum Messen der Intensität eines elektrischen Stromes, mit mindestens zwei Meßmodulen, wovon jedes mit mindestens einem Halleffektsensor versehen ist und die zwei Meßmodule beiderseits eines von einem zu messenden elektrischen Strom durchlaufenen elektrischen Leiters angeordnet sind und die so angeordnet sind, daß sie jeweils eine Spannung mit entgegengesetztem Vorzeichen bereitstellen, die proportional zu der Intensität des zu messenden Stromes ist, wobei mindestens ein Differentialmodul angeordnet ist um die zwei Spannungen am Ausgang der Meßmodule zu subtrahieren und um eine Differentialspannung bereitzustellen, die dazu bestimmt ist, in einem Verarbeitungsmodul verarbeitet zu werden, um einen gemessenen Intensitätswert bereitzustellen.

[0002] Es existieren mehrere Arten von Vorrichtungen, die die Messung der Intensität eines einen elektrischen Leiter durchlaufenden elektrischen Stromes ermöglichen. Die bekanntesten sind zweifellos die Stromwandler, die eine spezielle Anwendung erfordern und relativ sperrig und kostspielig sind. So muß in der Tat auf jedem elektrischen Leiter, der die Primärseite eines Wandlers bildet, ein Magnetkern montiert werden, wobei die Sekundärseite durch eine um den Magnetkern gewickelte Spule gebildet wird, die ein zur gemessenen Intensität proportionales Spannungssignal bereitstellt.

[0003] Bei weiteren Vorrichtungen werden einer oder mehrere mehr oder weniger in der Nähe des zu kontrollierenden elektrischen Leiters positionierte Halleffektsensoren verwendet. Die Halleffektsensoren sind in verschiedenen Bereichen gut bekannt für ihre Fähigkeit, zwischen ihren Anschlußklemmen eine sogenannte Hallspannung bereitzustellen, die proportional zu dem sie durchlaufenden Magnetfeld ist, unter der Bedingung, daß sie einem Polarisationsstrom ausgesetzt werden. Folglich wird, wenn ein Halleffektsensor in der Nähe eines von einem Strom durchlaufenen elektrischen Leiters positioniert wird, der Sensor von dem rund um den Leiter durch den Strom induzierten Magnetfeldlinien durchlaufen, wobei das Magnetfeld proportional zu der Intensität des Stromes ist. Auf diese Weise gibt der Sensor ein Spannungssignal zwischen seinen Anschlußklemmen aus, das für die Intensität des den elektrischen Leiter durchlaufenden Stromes repräsentativ ist. Danach genügt es, das Signal zu verarbeiten, um einen brauchbaren Wert zu erhalten.

[0004] Dennoch sind die Halleffektsensoren insbesondere empfindlich gegenüber anderen Umgebungs- oder Störmagnetflüssen, die dahingehend wirken, daß sie die Intensitätsmessung verfälschen. Aus diesem Grund ist es bis jetzt nicht möglich, mit diesen Sensoren zuverlässige und reproduzierbare Intensitätsmessungen zu erhalten. Bei den in der Veröffentlichung DE-A-199 14 772 und in dem Artikel "Hall-effect current sensors for integrated circuits"/"Halleffektstromsensoren für integrierte Schaltungen", veröffentlicht in NTIS TECH NOTES, US DEPARTMENT OF COMMERCE vom 1. April 1990, beschriebenen Lösungen sind zwei beiderseits des zu messenden Leiters angeordnete, mit einem Differentialmodul verbundene Halleffektsensoren vorgesehen. Diese Lösungen reichen nicht aus, da kein Mittel zum Ausgleich dieser Sensoren, und gegebenenfalls zur Korrektur der Spannung an ihren Anschlußklemmen vorgesehen ist.

[0005] Die vorliegende Erfindung zielt auf die Linderung dieser Unannehmlichkeiten ab, indem eine Halleffektmeßvorrichtung vorgeschlagen wird, die die Durchführung zuverlässiger Intensitätsmessungen ermöglicht, die unemp-

findlich gegen Umgebungsflüsse, und leicht an mehrere Intensitätsgrößen anpaßbar ist.

[0006] Zu diesem Zweck betrifft die Erfindung eine Halleffektmeßvorrichtung, wie sie in der Einleitung definiert ist, dadurch gekennzeichnet, daß sie ein Ausgleichsmodul für die zwei Meßmodule aufweist, wobei das Ausgleichsmodul zum Korrigieren der Spannung am Ausgang mindestens eines der Meßmodule so angeordnet ist, daß das Differentialmodul eine Differentialspannung gleich Null bereitstellt, wenn die Halleffektsensoren der zwei Meßmodule einer identischen Polarität mit demselben Vorzeichen ausgesetzt werden.

[0007] Das Ausgleichsmodul weist auf vorteilhafte Art und Weise zwei in Reihe angebrachte Spulen auf, wovon jede über einem Halleffektsensor angebracht ist und die Spulen von einem selben Strom durchlaufen werden und so angeordnet sind, daß sie in jedem Halleffektsensor die identische Polarität mit demselben Vorzeichen erzeugen.

[0008] Das Ausgleichsmodul kann mindestens einen Komparator aufweisen der so angeordnet ist, daß er einen Rechteckimpuls bereitstellt und mindestens eine Ausgleichssteuerungseinheit aufweisen, die zum Empfang des Rechteckimpulses vorgesehen und angeordnet ist, um den Polarisationsstrom des Halleffektsensors mindestens eines Meßmoduls bis zur Unterdrückung des Rechteckimpulses am Ausgang des Komparators einzustellen.

[0009] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Meßvorrichtung mindestens ein Kalibrierungsmodul auf, das zum Korrigieren der Spannungen am Ausgang der zwei Meßmodule um einen Verstärkungsfaktor in Abhängigkeit von der Größe der Intensität des zu messenden Stromes angeordnet ist.

[0010] Auf vorteilhafte Art und Weise besteht die Meßvorrichtung aus einem integrierten Schaltkreis auf einem Siliziumchip, wobei mindestens die Meß-, Differential-, Ausgleichs- und Kalibrierungsmodule in dem Siliziumchip ausgebildet sind.

[0011] Vorteilhafterweise ist der Siliziumchip in einem mit Verbindungslaschen versehenen Isolationsgehäuse untergebracht, wobei der Siliziumchip mittels elektrischer Verbindungslitzen mit den Verbindungslaschen verbunden ist.

[0012] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Meßvorrichtung mindestens eine auf oder in dem Siliziumchip ausgebildete Leiterbahn auf, aus der der zu messende elektrische Leiter besteht. Die Leiterbahn kann einen verengten Mittelteil aufweisen und die Halleffektsensoren sind beiderseits dieses Mittelteils angeordnet.

[0013] Die vorliegende Erfindung und ihre Vorteile werden deutlicher anhand der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, wobei:

[0014] Fig. 1 eine vereinfachte und vergrößerte Seitenansicht der Meßvorrichtung gemäß der Erfindung ist,

[0015] Fig. 2 eine Draufsicht auf ein Detail der Vorrichtung von Fig. 1 ist,

[0016] Fig. 3 eine schematische und stark vergrößerte Ansicht des Siliziumchips der Meßvorrichtung von Fig. 1 ist, und

[0017] Fig. 4 eine schematische Darstellung des elektronischen Schaltkreises der Meßvorrichtung gemäß der Erfindung ist.

[0018] Unter Bezugnahme auf Fig. 1 und 2 ist die Halleffektmeßvorrichtung gemäß der Erfindung zum Messen der Intensität eines einen elektrischen Leiter 2 durchlaufenden elektrischen Stromes eines zu kontrollierenden elektrischen Schaltkreises vorgesehen. Die Meßvorrichtung 1 besteht in einer veranschaulichten bevorzugten Ausführungsform aus einem in einem Siliziumchip 3 integrierten Schaltkreis. Die-

ser Siliziumchip 3 ist in einem mit Verbindungslaschen 5 versehenen Isolationsgehäuse 4 untergebracht. Er ist mittels elektrischer Verbindungslaschen 6 mit den Verbindungslaschen 5 des Gehäuses 4 verbunden, die allgemein "Bonding"-Litzen genannt werden. Der in einem Siliziumchip 3 integrierte Schaltkreis kann z. B. durch einen auf ein Substrat gedruckten Schaltkreis oder jeden anderen gleichwertigen Schaltkreis ersetzt werden. Dennoch ist die Technologie in einen Siliziumchip integrierter Schaltkreise gut bekannt und erfreut sich breiter Anwendung, da sie die Ausführung der Schaltkreise und ihrer elektronischen Komponenten zu geringsten Kosten und in einem sehr kleinen Format ermöglicht, die zur Sicherstellung einer oder mehrerer Funktionen, wie z. B. der Funktion "Messen" notwendig sind, die die vorliegende Erfindung betrifft.

[0019] Der Siliziumchip 3 weist auf einer Isolations-schicht 7 eine Leiterbahn 2 auf, aus der der zu messende elektrische Leiter besteht, und ist dafür vorgesehen, mit dem zu kontrollierenden elektrischen Schaltkreis verbunden zu werden. Die Leiterbahn 2 kann auch in dem Siliziumchip 3 integriert sein. Die Leiterbahn 2 weist einen verengten Mittelteil auf, wobei die Halleffektsensoren 8, 8' (siehe Fig. 2) beiderseits desselben angeordnet sind. Fig. 2 ist eine stark vergrößerte Draufsicht auf Detail A von Fig. 1. Zur Information:

Die große Breite der Leiterbahn 2 entspricht 800 µm. Selbstverständlich wird diese Breite nur beispielhaft gegeben und kann in Abhängigkeit von der Meßvorrichtung 1 und dem zu messenden Stromwert variieren.

[0020] Unter Bezugnahme auf Fig. 3 weist die Meßvorrichtung 1 ein Ausgleichsmodul der Halleffektsensoren 8, 8' auf, das insbesondere mit zwei in Reihe angebrachten Spulen 9, 9' versehen ist. Jede Spule 9, 9' ist über einem der Halleffektsensoren 8, 8' positioniert. Fig. 3 ist eine stark vergrößerte perspektivische Ansicht des Siliziumchips 3, auf dem die Halleffektsensoren 8, 8', die in Reihe angebrachten Spulen 9, 9' und die Leiterbahn 2 schematisch dargestellt sind.

[0021] Fig. 4 veranschaulicht den elektronischen Schaltkreis 10 der Meßvorrichtung 1 gemäß der Erfindung, der in Form eines in dem Siliziumchip 3 integrierten Schaltkreises miniaturisiert ist. Der elektronische Schaltkreis 10 weist zwei Meßmodule 11, 11' auf, die jeweils einen der Halleffektsensoren 8, 8' umfassen. Jedes Meßmodul 11, 11' weist eine Polarisationsversorgung 12, 12' auf, die den Polarisationsstrom I_{pol} , I_{pol}' eines jeden Halleffektsensors 8, 8', definiert, einen Verstärker 13, 13' und eine der Spulen 9, 9' des Ausgleichsmoduls. Jedes Meßmodul 11, 11' stellt eine Spannung V , V' bereit, die um einen Koeffizienten K , K' verstärkt, und proportional zu dem Magnetfeld B , B' ist, das jeden Halleffektsensor 8, 8' durchläuft und selbst proportional zu der zu messenden Intensität des Stromes in der Leiterbahn 2 ist. Die Spannung am Ausgang eines jeden Meßmoduls 11, 11' wird wie folgt ausgedrückt:

$$V = K \times B \times I_{pol} \text{ und } V' = K' \times B' \times I_{pol}'.$$

[0022] Da die Leiterbahn 2 zwischen den zwei Halleffektsensoren 8, 8' positioniert ist, weist das durch den die Leiterbahn 2 durchlaufenden Strom in jedem Halleffektsensor 8, 8' induzierte Magnetfeld B , B' ein entgegengesetztes Vorzeichen auf. Somit weisen auch die Spannungen am Ausgang der Meßmodule 11, 11' ein entgegengesetztes Vorzeichen auf.

[0023] Der elektronische Schaltkreis 10 weist ein Verstärkungs-Differentialmodul 14 auf, das an seinen Eingangsklemmen die Spannungen V , V' empfängt, die Differenz zwischen den zwei Spannungen ermittelt und zwischen sei-

nen Ausgangsklemmen eine um einen Koeffizienten K_{diff} verstärkte Differentialspannung V_{diff} bereitstellt. Diese Spannung wird wie folgt ausgedrückt:

$$V_{diff} = K_{diff} \times (V - V')$$

Wenn $V = -V'$, dann $V_{diff} = K_{diff} \times 2 \times V$.

[0024] Ein von einer allgemein als "Puffer" bezeichneten Pufferstufe 16, 16' gefolgt Kondensator-Widerstandsfilter 15, 15' ist zwischen jedem Meßmodul 11, 11' und dem Verstärker-Differentialmodul 14 zur Beseitigung von Geräuschen durch Störfrequenzen vorgesehen. In gleicher Weise ist am Ausgang des Verstärker-Differentialmoduls 14 ein Bandpaßfilter 17 zur Beseitigung von Geräuschen durch Störfrequenzen vorgesehen. Ein Verarbeitungsmodul 18 für die Differentialspannung V_{diff} ist am Ausgang des Bandpaßfilters 17 vorgesehen. Das Verarbeitungsmodul 18 kann je nach Bedarf in dem Siliziumchip 3 integriert, oder außerhalb der Meßvorrichtung 1 angebracht sein. Es ermöglicht die Umwandlung der Differentialspannung V_{diff} in einen der zu messenden Intensität des Stromes entsprechenden Wert, wobei der Wert von jedem Informationsverarbeitungssystem verwendet werden kann.

[0025] Der elektronische Schaltkreis 10 weist ein aus einem Komparator 19 bestehendes Ausgleichsmodul 20 auf, z. B. einen Hysteresekomparator, der die Bereitstellung eines Rechteckimpulses ermöglicht, sowie eine Ausgleichssteuerungseinheit 21, die den Rechteckimpuls analysiert und auf eines der Meßmodule 11, 11' wirkt. Das Ziel des Ausgleichsmoduls 20 besteht in der Korrektur der Spannung V , V' am Ausgang mindestens eines der Meßmodule 11, 11', so daß das Verstärker-Differentialmodul 14 eine Differentialspannung V_{diff} gleich Null bereitstellt, wenn die zwei Meßmodule 11, 11' einem identischen Magnetfeld B , B' mit demselben Vorzeichen ausgesetzt werden.

[0026] Das Ausgleichsmodul 20 weist die zwei in Reihe angebrachten, und mit einem selben Strom versorgten Spulen 9, 9' auf. Die Spulen 9, 9' sind in den Siliziumchip 3 eingepreßt und weisen aufgrund dieser Tatsache absolut identische technische Daten auf. Folglich induziert der sie durchlaufende Strom in jedem Halleffektsensor 8, 8' ein absolut identisches Magnetfeld B_{eq} mit derselben Ausrichtung. In der Ausgleichsphase sind die Magnetfelder B und B' mit B_{eq} identisch und gleich. Die Spannungen V und V' am Ausgang der Meßmodule 11, 11' können somit wie folgt ausgedrückt werden:

$$V = K \times B_{eq} \times I_{pol} \text{ und } V' = K' \times B_{eq}' \times I_{pol}'.$$

[0027] Die Koeffizienten K und K' können unterschiedlich, und von unvermeidbaren Herstellungsabweichungen abhängig sein. Wenn die zwei Meßmodule 11, 11' ausgeglichen sind, dann sind auch V und V' gleich, die Differentialspannung V_{diff} ist gleich Null und der Komparator 19 gibt keinen Rechteckimpuls aus. Wenn umgekehrt die zwei Meßmodule 11, 11' unausgeglichen sind, unterscheidet sich auch V von V' , die Differentialspannung V_{diff} ist nicht gleich Null und der Komparator 19 gibt einen Rechteckimpuls aus. Die Steuerungseinheit 21 wirkt nun direkt auf die Polarisationsversorgung 12, 12' eines der Meßmodule 11, 11', um ihren Polarisationsstrom I_{pol} oder I_{pol}' zu verändern, bis V gleich V' ist. Wenn der Ausgleich erreicht ist, dann gibt die Steuerungseinheit 21 am Ende des Vorgangs ein Signal "Ausgleich OK" aus. Wenn umgekehrt der Ausgleich nicht möglich ist und außerhalb des Regelbereiches des Polarisationsstromes liegt, dann gibt die Steuerungseinheit 21 ein Signal "Ausgleich unmöglich" aus. In diesem

Fall gilt die Meßvorrichtung 1 als defekt und muß ausgetauscht werden.

[0028] Sobald der Ausgleich erfolgt ist, induziert jedes Störmagnetfeld, das allgemein als Gleichtakt-Magnetfeld bezeichnet wird, z. B. ein Magnetfeld, das von einem an der Meßvorrichtung 1 angrenzenden Netz-Transformator stammt, identische Spannungen V und V' mit demselben Vorzeichen am Ausgang der zwei Meßmodule 11, 11', und folglich eine Differentialspannung V_{diff} Null. Daraus ergibt sich die folgende Gleichung:

$$K \times I_{pol} = K' \times I_{pol}'.$$

[0029] Es ist erkennbar, daß bei Multiplikation der Polarisationsströme I_{pol} und I_{pol}' mit einem selben Faktor K_{cal} diese Gleichung erhalten bleibt.

[0030] Sobald der Ausgleich erfolgt ist, erzeugt nur ein Differentialmagnetfeld B_{diff} , das der Differenz der in den Halleffektsensoren 8, 8' in entgegengesetzten Richtungen induzierten Magnetfelder B und B' entspricht, eine Differentialspannung V_{diff} am Ausgang des Verstärker-Differentialmoduls 14. Diese Differentialspannung kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$V_{diff} = K_{diff} \times B_{diff} \times (K \times I_{pol}).$$

[0031] Der elektronische Schaltkreis 10 weist auch ein Kalibrierungsmodul 22 auf, das in dem Siliziumchip 3 integriert sein kann oder nicht, das die Bereitstellung einer Differentialspannung V_{diff} ermöglicht, die an einen vollständig bekannten Wert von elektrischem Strom angepaßt ist, der die Leiterbahn 2 durchläuft. Zu diesem Zweck multipliziert das Kalibrierungsmodul 22 die zwei Polarisationsströme I_{pol} und I_{pol}' mit einem selben Kalibrierungskoeffizienten K_{cal} .

[0032] Vor der ersten Inbetriebnahme der Meßvorrichtung 1 gemäß der Erfindung muß zuerst ausgeglichen und dann kalibriert werden. Die zwei in Reihe angebrachten Spulen 9, 9' werden mit einem selben Strom versorgt und das Ausgleichsmodul 20 korrigiert automatisch den Polarisationsstrom I_{pol} oder I_{pol}' eines der Meßmodule 11 oder 11' mit einem Koeffizienten K_{eq} , um eine Differentialspannung V_{diff} gleich Null zu erhalten. Die Ausgleichssteuerungseinheit 21 speichert diesen Korrektorkoeffizienten K_{eq} .

[0033] Dann muß die Meßvorrichtung 1 in Abhängigkeit von der zu messenden Intensität des Stromes kalibriert werden, z. B. 1 A oder 5 A oder 10 A. Die Leiterbahn 2 wird dann mit einem vollständig bekannten Strom versorgt und die erhaltene Differentialspannung V_{diff} wird analysiert. Wenn sie nicht einem gewünschten Wert entspricht, korrigiert die Kalibrierungseinheit 22 die zwei Polarisationsströme I_{pol} und I_{pol}' mit einem Kalibrierungskoeffizienten K_{cal} , der den Erhalt des gewünschten Wertes ermöglicht.

[0034] Nach Durchführung der Ausgleichs- und Kalibrierungsvorgänge, die selbstverständlich entweder von dem Hersteller der Meßvorrichtung 1 oder von dem Monteur der Vorrichtung durchgeführt werden können, wird die Meßvorrichtung 1 in den zu kontrollierenden elektrischen Schaltkreis eingeführt. Der zu messende elektrische Leiter wird mit dem Eingang und dem Ausgang der Leiterbahn 2 verbunden. Die Verbindungslaschen werden mit der Verarbeitungseinheit 18 verbunden, die entweder innerhalb der Meßvorrichtung 1 oder außerhalb positioniert ist.

[0035] Die Meßvorrichtung 1 ermöglicht die ununterbrochene Messung der Intensität des die Leiterbahn 2 durchlaufenden Stromes. Die Differentialspannung V_{diff} am Ausgang des Bandpaßfilters 17 wird zur Verarbeitungseinheit 18 geschickt, die sie interpretiert und davon einen Anzeigewert

dieser Intensität abzieht.

[0036] Dank der zwei Halleffektsensoren 8, 8' und des Verstärker-Differentialmoduls 14 wird jedes Gleichtakt-Störmagnetfeld automatisch unterdrückt, und der erhaltene Intensitätswert entspricht wirklich der Intensität des Stromes, der die Leiterbahn 2 durchläuft.

[0037] Aus dieser Beschreibung geht klar hervor, daß die Erfindung das Erreichen der festgelegten Ziele auf einfache, wirtschaftliche und zuverlässige Art und Weise ermöglicht. Die Meßvorrichtung 1 ermöglicht nach der Kalibrierung eine automatische Unterdrückung aller Gleichtakt-Magnetfelder. Sie paßt sich vollständig an verschiedene Intensitätsbandbreiten an, da sie leicht kalibrierbar ist. Die Meßvorrichtung 1 weist außerdem eine sehr geringe Größe auf und kann leicht an verschiedene Anwendungskonfigurationen angepaßt werden.

[0038] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf das beschriebene Ausführungsbeispiel begrenzt, sondern kann sich auf jede für einen Fachmann auf diesem Gebiet offensichtliche Abänderung und Variante erstrecken, wobei sie innerhalb der beigefügten Ansprüche verbleibt.

Patentansprüche

1. Halleffektmeßvorrichtung (1) zum Messen der Intensität eines elektrischen Stromes, mit mindestens zwei Meßmodulen (11, 11'), wovon jedes mit mindestens einem Halleffektsensor (8, 8') versehen ist und die zwei Meßmodule (11, 11') beiderseits eines von einem zu messenden elektrischen Strom durchlaufenen elektrischen Leiters (2) angeordnet sind und die so angeordnet sind, daß sie jeweils eine Spannung (V , V') mit entgegengesetztem Vorzeichen bereitstellen, die proportional zu der Intensität des zu messenden Stromes ist, wobei mindestens ein Differentialmodul (14) vorgesehen ist, um die zwei Spannungen (V , V') am Ausgang der Meßmodule (11, 11') zu subtrahieren und um eine Differentialspannung (V_{diff}) bereitzustellen, die dazu bestimmt ist, in einem Verarbeitungsmodul (18) verarbeitet zu werden, um einen gemessenen Intensitätswert bereitzustellen, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie ein Ausgleichsmodul (20) für die zwei Meßmodule (11, 11') aufweist, wobei das Ausgleichsmodul (20) zum Korrigieren der Spannung (V , V') am Ausgang mindestens eines der Meßmodule (11, 11') so angeordnet ist, daß das Differentialmodul (14) eine Differentialspannung (V_{diff}) gleich Null bereitstellt, wenn die Halleffektsensoren (8, 8') der zwei Meßmodule (11, 11') einer identischen Polarität (B_{eq}) mit demselben Vorzeichen ausgesetzt werden.

2. Meßvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgleichsmodul (20) zwei in Reihe angebrachte Spulen (9, 9') aufweist, wovon jede über einem Halleffektsensor (8, 8') angebracht ist und die Spulen (9, 9') von einem selben Strom durchlaufen werden und so angeordnet sind, daß sie in jedem Halleffektsensor (8, 8') die identische Polarität (B_{eq}) mit demselben Vorzeichen erzeugen.

3. Meßvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgleichsmodul (20) mindestens einen Komparator (19) aufweist, der so angeordnet ist, daß er einen Rechteckimpuls bereitstellt und mindestens eine Ausgleichssteuerungseinheit (21) aufweist, die zum Empfang des Rechteckimpulses vorgesehen und angeordnet ist, um den Polarisationsstrom (I_{pol} , I_{pol}') des Halleffektsensors (8, 8') mindestens eines Meßmoduls (11, 11') bis zur Unterdrückung des Rechteckimpulses am Ausgang des Komparators (19) einzu-

stellen.

4. Meßvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie mindestens ein Kalibrierungsmodul (22) aufweist, das zum Korrigieren der Spannungen (V , V') am Ausgang der zwei Meßmodule (11, 11') um einen Verstärkungsfaktor (Kcal) in Abhängigkeit von der Größe der Intensität des zu messenden Stromes angeordnet ist.

5. Meßvorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sie aus einem integrierten Schaltkreis auf einem Siliziumchip (3) besteht, wobei mindestens die Meß- (11, 11'), Differential- (14), Ausgleichs- (20) und Kalibrierungsmodule (22) in dem Siliziumchip (3) ausgebildet sind.

6. Meßvorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Siliziumchip (3) in einem mit Verbindungslaschen (5) versehenen Isolationsgehäuse (4) untergebracht ist, wobei der Siliziumchip (3) mittels elektrischer Verbindungslitzen (6) mit den Verbindungslaschen (5) verbunden ist.

7. Meßvorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß sie mindestens eine auf oder in dem Siliziumchip (3) ausgebildete Leiterbahn (2) aufweist, aus der der zu messende elektrische Leiter besteht.

8. Meßvorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterbahn (2) einen verengten Mittelteil aufweist und die Halleffektsensoren (8, 8') beiderseits dieses Mittelteils angeordnet sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

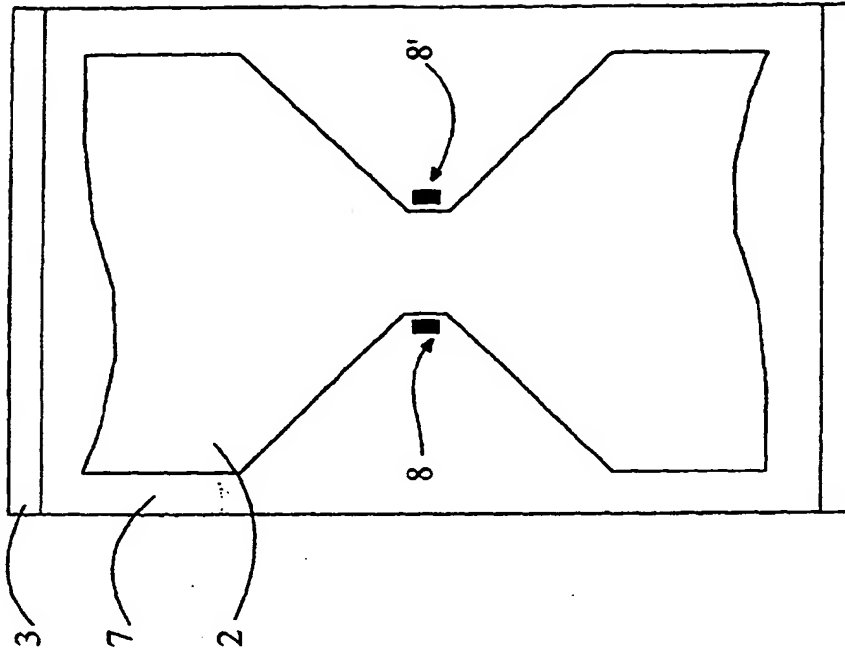


FIG. 2

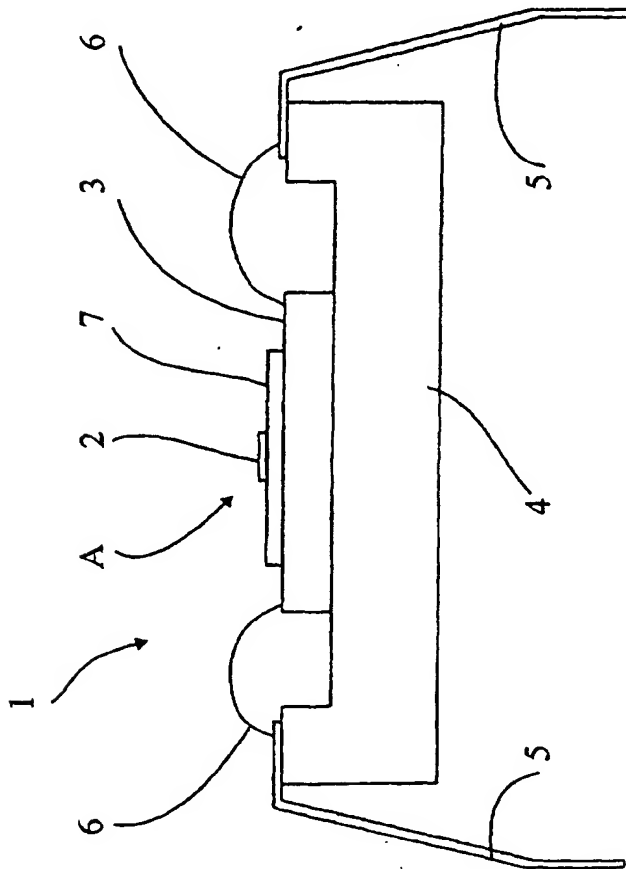


FIG. 1

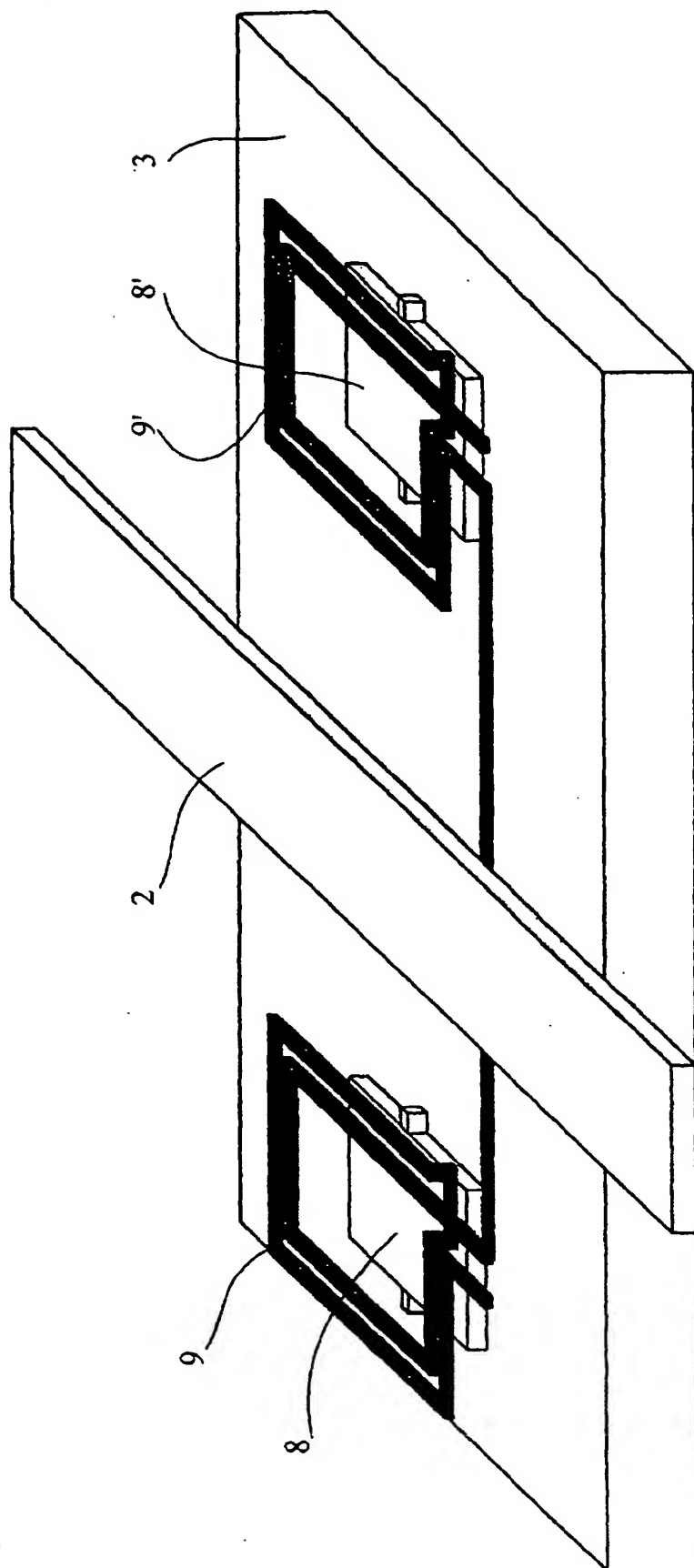
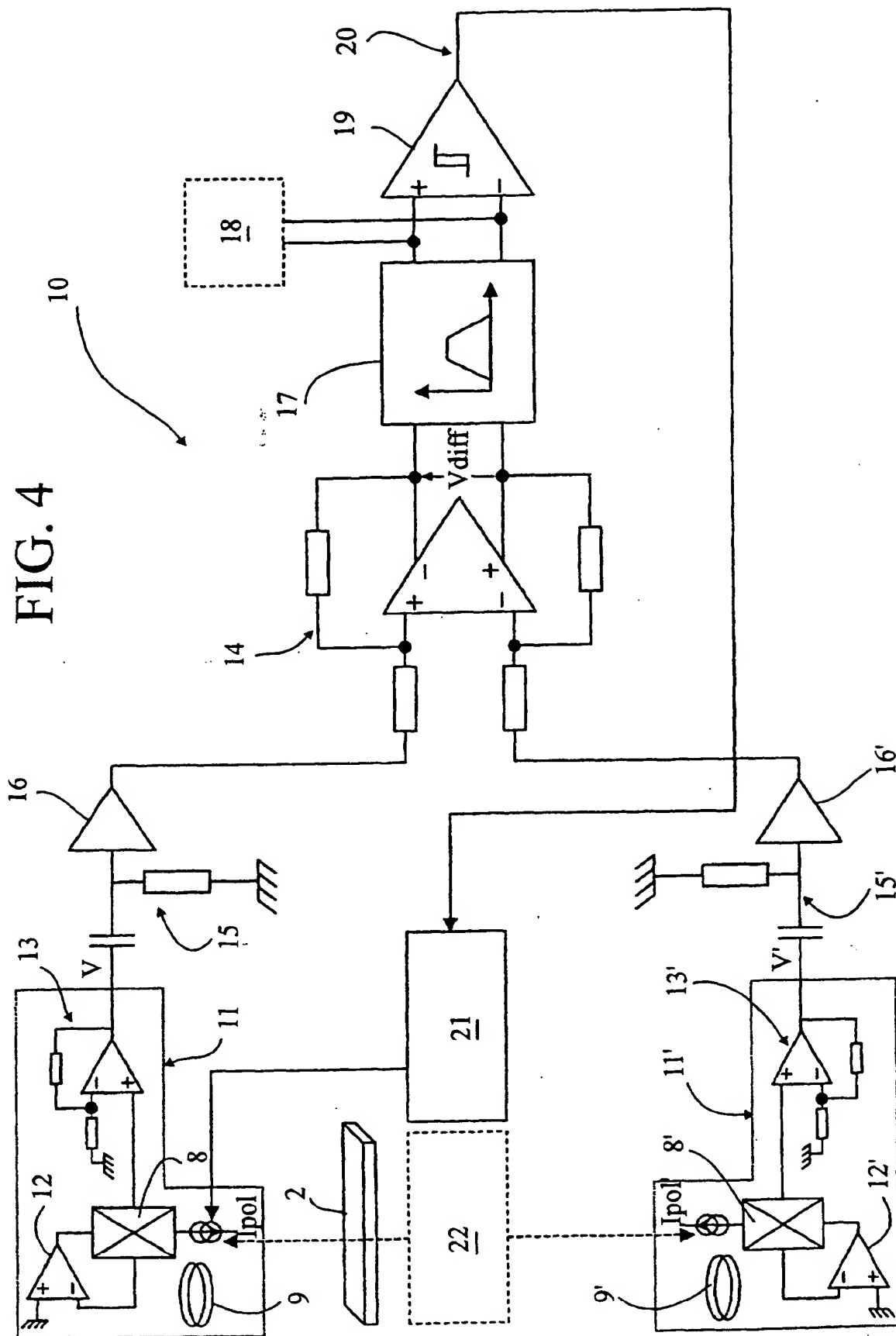


FIG. 3

FIG. 4





DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Patent Application**
Publication
10 **DE 102 33 129 A 1**

51 International
Classification⁷:
G 01 R 15/20

21 File Number: 102 33 129.4
67 Application Date: July 20, 2002
43 Publication Date: Feb. 13, 2003

30 Union Priority:
01/09888 25.07.2001 FR

71 Applicant:
Socomec S.A., Renfeld, FR

74 Representative:
Lorenz und Kollegen, 89522 Heidenheim

72 Inventor:
Frick, Vincent, Strasbourg, FR; Hebrard, Luc,
Strasbourg, FR; Poure, Philippe, Strasbourg, FR

The following information is an excerpt of the documents supplied by the applicant

54 Hall effect measuring device for the measuring of the intensity of an electric current

57

The present invention concerns a Hall effect measuring device for the measuring of the intensity of an electric current, which is economical, easy to use and which makes it possible to perform reliable intensity measurements with high precision, which are not susceptible to common mode fields and which can be adapted to various intensity values.

The measuring device (1) exhibits two measuring modules (11, 11'), whereby each module is provided with at least one Hall effect sensor (8, 8'), and the modules are arranged on both sides of an electrical conductor (2) through which the electric current to be measured passes, and which are arranged in such a way that they in each case provide a voltage (V, V') with opposite polarity signs. It exhibits a differential module (14), which receives the two voltages (V, V') and provides a differential voltage (V_{diff}), which is processed in a processing module (18). It exhibits a balance module (20), which corrects one of the measuring modules (11, 11'), so that V_{diff} is equal zero, if the Hall effect sensors (8, 8') are subjected to an identical polarity (B_{eq}) with the same polarity sign, which is induced by two coils (9, 9') connected in series, which are supplied by the same current. It also exhibits a calibration module (22), which makes it possible to correct the voltages (V, V') of a same calibration coefficient (K_{cal}), in order to receive a differential voltage for a previously determined intensity, which

Hall effect measuring device for the measuring of the intensity of an electric current

The present invention concerns a Hall effect measuring device for the measuring of the intensity of an electric current, which is economical, easy to use and which makes it possible to perform reliable intensity measurements with high precision, which are not susceptible to common mode fields and which can be adapted to various intensity values. The measuring device (1) exhibits two measuring modules (11, 11'), whereby each module is provided with at least one Hall effect sensor (8, 8'), and the modules are arranged on both sides of an electrical conductor (2) through which the electric current to be measured passes, and which are arranged in such a way that they in each case provide a voltage (V , V') with opposite polarity signs. It exhibits a differential module (14), which receives the two voltages (V , V') and provides a differential voltage (V_{diff}), which is processed in a processing module (18). It exhibits a balance module (20), which corrects one of the measuring modules (11, 11'), so that V_{diff} is equal zero, if the Hall effect sensors (8, 8') are subjected to an identical polarity (B_{eq}) with the same polarity sign, which is induced by two coils (9, 9') connected in series, which are supplied by the same current. It also exhibits a calibration module (22), which makes it possible to correct the voltages (V , V') of a same calibration coefficient (K_{cal}), in order to receive a differential voltage for a previously determined intensity, which

Description

[0001] The present invention concerns a Hall effect measuring device for the measuring of the intensity of an electric current, with at least two measuring modules, whereby each module is provided with at least one Hall effect sensor, and the two measuring modules are arranged on both sides an electrical conductor through which the electric current to be measured passes, and which are arranged in such a way that they in each case provide a voltage with opposite polarity signs, which is proportional to the intensity of the current to be measured, whereby at least one differential module is intended, in order to subtract the two voltages at the output of the measuring modules and to provide a differential voltage, which is intended to be processed in a processing module, in order to provide a measured intensity value.

[0002] Several kinds of devices exist, which permit the measurement of the intensity of electric current passing through an electrical conductor. The most well known are certainly the current transformers, which require a special application and which are relatively bulky and expensive. In fact, a magnet core must be mounted on each electrical conductor, which forms the primary side of a transducer, whereby a coil wound around the magnet core, which provides a voltage signal proportional to the measured intensity, forms the secondary side.

[0003] With other devices, one or several Hall effect sensors are used, which are positioned more or less in the proximity of the electrical conductor to be checked. The Hall effect sensors are well known in various areas for their ability to provide a so-called Hall voltage between their connecting terminals, which is proportional to the magnetic field passing through them, on the condition that they are exposed to a polarization current. Therefore, if a Hall effect sensor is positioned in the proximity of an electrical conductor through which a current runs, the sensor is passed through by the magnetic field lines around the conductor, which are induced by the current, whereby the magnetic field is proportional to the intensity of the current. This way the sensor emits a voltage signal between its connecting terminals, which is representative for the intensity of the current passing through the electrical conductor. It is sufficient to process the signal in order to obtain a useful value.

[0004] Nevertheless, the Hall effect sensors are in particular susceptible to other environment or disrupting magnetic fluxes, which have the effect that they falsify the intensity measurement. For this reason it is up to now not possible to receive reliable and reproducible intensity measurements with these sensors. With the solutions described in the publication De-A-199 14 772 and in the report "Hall-effect current sensors for integrated circuits", published in NTIS TECH NOTES, US DEPARTMENT OF COMMERCE from April 1 1990, two Hall effect sensors are intended, which are arranged on both sides of the conductor to be measured and which are connected with a differential module. These solutions are not sufficient, since no means is intended for the compensation of these sensors, and for the correction of the voltage at their connecting terminals if necessary.

[0005] The present invention intends to reduce these inconveniences, as a Hall effect measuring device is suggested, which makes it possible to conduct reliable intensity measurements, which is not susceptible to environmental fluxes, and which is easily adaptable to several intensity sizes.

[0006] For this purpose the invention concerns a Hall effect measuring device, as it is defined in the introduction, characterized by the fact that it exhibits a balance module for the two measuring modules, whereby the balance module is arranged in such a way for correcting the voltage at the output of at least one of the measuring modules that the differential module provides a differential voltage equal zero,

if the Hall effect sensors of the two measuring modules are subjected to an identical polarity with the same polarity sign.

[0007] The balance module exhibits in a favorable way two coils connected in series, whereby each coil is attached above a Hall effect sensor and the same current will run through the coils and the coils are arranged in such a way that they create in each Hall effect sensor the identical polarity with the same polarity sign.

[0008] The balance module can exhibit at least one comparator which is arranged in such a way that it provides a rectangular pulse and which exhibits at least one compensating control unit, which is intended for the reception of the rectangular pulse and which is arranged in order to adjust the polarization current of the Hall effect sensor of at least one measuring module up to the suppression of the rectangular pulse at the output of the comparator.

[0009] In a preferred embodiment, the measuring device exhibits at least one calibration module, which is arranged for correcting the voltages at the output of the two measuring modules around an amplification factor in dependence on the size of the intensity of the current to be measured.

[0010] The measuring device consists in a favorable way of an integrated circuit on a silicon chip, whereby at least the measuring modules, the differential module, the balance module and the calibration modules are formed in the silicon chip.

[0011] The silicon chip is located in a favorable way in an isolation housing provided with connecting straps, whereby the silicon chip is connected by means of electrical connection cords with the connecting straps.

[0012] In a preferred embodiment, the measuring device exhibits at least one strip conductor formed on or in the silicon chip, of which the electrical conductor to be measured consists. The strip conductor can exhibit a narrowed middle part and the Hall effect sensors are arranged on both sides of this middle part.

[0013] The present invention and its advantages are explained using the following description of an embodiment example with reference to the attached drawings, whereby:

[0014] Fig. 1 is a simplified and enlarged side view of the measuring device according to the invention,

[0015] Fig. 2 is a top view onto a detail of the device of Fig. 1,

[0016] Fig. 3 is a diagrammatic and very much enlarged view of the silicon chip of the measuring device of Fig. 1, and

[0017] Fig. 4 is a diagrammatic representation of the electronic circuit of the measuring device according to the invention.

[0018] With reference to Fig. 1 and 2, the Hall effect measuring device according to the invention is intended for measuring the intensity of an electric current which is passing through an electrical conductor 2 of an electrical circuit to be checked. The measuring device 1 consists in an illustrated preferred embodiment of a circuit integrated into a silicon chip 3. This silicon chip 3 is located in an isolation housing 4, which is provided with connecting straps 5. It is connected by means of electrical connection cords 6 with the connecting straps 5 of the housing 4, which are usually called "Bonding" cords. A circuit printed onto a substrate or any other equivalent circuit can e.g. replace the circuit integrated in a silicon chip 3. The technology of circuits integrated into a silicon chip is nevertheless well known and is commonly used, since it allows the operation of the circuits and its electronic components at lowest costs and in a very small format, which are necessary for ensuring one or several functions, e.g. the function "measure", which concerns the present invention.

[0019] The silicon chip 3 exhibits a strip conductor 2 on an isolation layer 7, of which the electrical conductor to be measured consists, and is intended to be connected with the electrical circuit to be checked. The strip conductor 2 can

also be integrated in the silicon chip 3. The strip conductor 2 exhibits a narrowed middle part, whereby the Hall effect sensors 8, 8' (see Fig. 2) are arranged on both sides of the same. Fig. 2 is a very much enlarged top view onto detail A of Fig. 1. For information:

The large width of the strip conductor 2 corresponds to 800 μm . This width is of course only given exemplarily and can vary in dependence of the measuring device 1 and the current value to be measured.

[0020] With reference to Fig. 3, the measuring device 1 exhibits a balance module of the Hall effect sensors 8, 8', which is provided in particular with two coils 9, 9' connected in series. Each coil 9, 9' is positioned above one of the Hall effect sensors 8, 8'. Fig. 3 is a very much enlarged perspective view of the silicon chip 3, on which the Hall effect sensors 8, 8', the coils 9, 9' connected in series and the strip conductor 2 are diagrammatically represented.

[0021] Fig. 4 illustrates the electronic circuit 10 of the measuring device 1 according to the invention, which is miniaturized in form of a circuit integrated in the silicon chip 3. The electronic circuit 10 exhibits two measuring modules 11, 11', which in each case contain one of the Hall effect sensors 8, 8'. Each measuring module 11, 11' exhibits a polarization supply 12, 12', which defines the polarization current I_{pol} , I_{pol}' of each Hall effect sensor 8, 8', an amplifier 13, 13' and one of the coils 9, 9' of the balance module. Each measuring module 11, 11' provides a voltage V , V' , which is amplified by a coefficient K , K' , and which is proportional to the magnetic field B , B' , which passes through each Hall effect sensor 8, 8' and is itself proportional to the intensity of the current in the strip conductor 2 to be measured. The voltage at the output of each measuring module 11, 11' is expressed as follows:

$$V = K \times B \times I_{\text{pol}} \text{ and } V' = K' \times B' \times I_{\text{pol}}'.$$

[0022] As the strip conductor 2 is positioned between the two Hall effect sensors 8, 8', the magnetic field B , B' , which is induced in each Hall effect sensor 8, 8' by the current passing through the strip conductor 2, exhibits an opposite polarity sign. Thus also the voltages at the output of the measuring modules 11, 11' exhibit an opposite polarity sign.

[0023] The electronic circuit 10 exhibits an amplifier differential module 14, which receives the voltages V , V' at its input terminals, determines the difference between the two voltages and provides between its output terminals a differential voltage V_{diff} that is intensified by a coefficient K_{diff} . This voltage is expressed as follows:

$$V_{\text{diff}} = K_{\text{diff}} \times (V - V')$$

$$\text{If } V = -V', \text{ then } V_{\text{diff}} = K_{\text{diff}} \times 2 \times V.$$

[0024] A capacitor resistor filters 15, 15', followed by a buffer stage 16, 16' usually called "buffer", is intended between each measuring module 11, 11' and the amplifier differential module 14 for the removal of noises caused by residual frequencies. In the same way a band pass filter 17 is intended at the output of the amplifier differential module 14 for the removal of noises caused by residual frequencies. A processing module 18 for the differential voltage V_{diff} is intended at the output of the band pass filter 17. The processing module 18 can be integrated in the silicon chip 3 as required, or can be located outside of the measuring device 1. It makes it possible to transform the differential voltage V_{diff} into a value corresponding to the intensity of the current to be measured, whereby the value of each data processing system can be used.

[0025] The electronic circuit 10 exhibits a balance module 20 consisting of a comparator 19, e.g. a hysteresis comparator, which allows the provision of a rectangular pulse, as well as a compensating control unit 21, which analyzes the rectangular pulse and affects one of the measuring modules

11, 11'. The goal of the balance module 20 is to correct the voltage V , V' at the output of at least one of the measuring modules 11, 11', so that the amplifier differential module 14 provides a differential voltage V_{diff} equal zero, if the two measuring modules 11, 11' are subjected to an identical magnetic field B , B' with the same polarity sign.

[0026] The balance module 20 exhibits the two coils 9, 9', which are connected in series and which are supplied with the same current. The coils 9, 9' are impressed into the silicon chip 3 and exhibit due to this fact absolutely identical technical data. Therefore the current passing through the coils induces in each Hall effect sensor 8, 8' an absolutely identical magnetic field B_{eq} with the same orientation. In the balance phase the magnetic fields B and B' are identical and equal to B_{eq} . The voltages V and V' at the output of the measuring modules 11, 11' can be thus expressed as follows:

$$V = K \times B_{\text{eq}} \times I_{\text{pol}} \text{ and } V' = K' \times B_{\text{eq}}' \times I_{\text{pol}}'.$$

[0027] The coefficients K and K' can be different and can be dependent on unavoidable manufacturing deviations. If the two measuring modules 11, 11' are balanced, then V and V' are also equal, the differential voltage V_{diff} is equal zero and the comparator 19 does not emit a rectangular pulse. If in contrary the two measuring modules 11, 11' are unbalanced, then also V differs from V' , the differential voltage V_{diff} is not equal zero and the comparator 19 emits a rectangular pulse. The control unit 21 affects now directly the polarization supply 12, 12' of one of the measuring modules 11, 11', in order to change its polarization current I_{pol} or I_{pol}' , until V is equal to V' . If compensation is achieved, then the control unit 21 emits at the end of the procedure a signal "compensation OK". If in contrary compensation is not possible and it lies outside of the control range of the polarization current, then the control unit 21 emits a signal "compensation not possibly". In this case the measuring device 1 appears as defective and must be exchanged.

[0028] As soon as compensation took place, each disrupting magnetic field, which is usually called common mode magnetic field, e.g. a magnetic field, which originates from a power transformer bordering the measuring device 1, induces identical voltages V and V' with the same polarity sign at the output of the two measuring modules 11, 11', and therefore a differential voltage V_{diff} zero. From this the following equation results:

$$K \times I_{\text{pol}} = K' \times I_{\text{pol}}'.$$

[0029] It can be recognized that with multiplication of the polarization currents I_{pol} and I_{pol}' with a same factor K_{cal} this equation remains.

[0030] As soon as compensation took place, only one differential magnetic field B_{diff} , which corresponds to the difference of the magnetic fields B and B' induced in opposite directions in the Hall effect sensors 8, 8', creates a differential voltage V_{diff} at the output of the amplifier differential module 14. This differential voltage can be expressed as follows:

$$V_{\text{diff}} = K_{\text{diff}} \times B_{\text{diff}} \times (K \times I_{\text{pol}}).$$

[0031] The electronic circuit 10 exhibits also a calibration module 22, which can or cannot be integrated in the silicon chip 3, which permits the provision of a differential voltage V_{diff} , which is adapted to a completely well known value of an electric current, which passes through the strip conductor 2. For this purpose, the calibration module 22 multiplies the two polarization currents I_{pol} and I_{pol}' with the same calibration coefficient K_{cal} .

[0032] Before the first use of the measuring device 1 according to the invention, it is first necessary to balance and then to calibrate. The two coils 9, 9' connected in series

are supplied with a same current and the balance module 20 automatically corrects the polarization current I_{pol} or I_{pol}' of one of the measuring modules 11 or 11' with a coefficient K_{eq} , in order to obtain a differential voltage V_{diff} equal zero. The compensating control unit 21 stores this correction coefficient K_{eq} .

[0033] Then the measuring device 1 must be calibrated in dependence of the intensity of the current to be measured, e.g. 1 A or 5 A or 10 A. Then the strip conductor 2 is supplied with a completely well known current and the resulting differential voltage V_{diff} is analyzed. If it does not correspond to a desired value, the calibration unit 22 corrects the two polarization currents I_{pol} and I_{pol}' with a calibration coefficient K_{cal} , which makes it possible to obtain the desired value.

[0034] After the balance and calibration procedures are conducted, which can of course be performed either by the manufacturer of the measuring device 1 or by the installer of the device, the measuring device 1 is inserted into the electrical circuit to be checked. The electrical conductor to be measured is connected with the input and the output of the strip conductor 2. The connecting straps are connected with the processing unit 18, which is positioned either within the measuring device 1 or outside.

[0035] The measuring device 1 enables the continuous measurement of the intensity of the current passing through the strip conductor 2. The differential voltage V_{diff} at the output of the band pass filter 17 is sent to the processing unit 18, which interprets it and subtracts a display value from this intensity.

[0036] Owing to the two Hall effect sensors 8, 8' and the amplifier differential module 14, each common mode disrupting magnetic field is automatically suppressed and the resulting intensity value really corresponds to the intensity of the current, which passes through the strip conductor 2.

[0037] This description shows clearly that the invention makes it possible to achieve the defined goals in a simple, economic and reliable way. The measuring device 1 permits an automatic suppression of all common mode magnetic fields after the calibration. It adapts itself completely to different intensity bandwidths, since it can be easily calibrated. The measuring device 1 is in addition very small and can easily be adapted to different application configurations.

[0038] The present invention is not limited to the described embodiment example, but can extend to any modification and variation that obvious for a specialist in this field, whereby it remains within the attached claims.

Patent claims

1. Hall effect measuring device (1) for the measuring of the intensity of an electric current, with at least two measuring modules (11, 11'), whereby each module is provided with at least one Hall effect sensor (8, 8'), and the two measuring modules (11, 11') are arranged on both sides of an electrical conductor (2) through which the electric current to be measured passes, and which are arranged in such a way that they in each case provide a voltage (V , V') with opposite polarity signs, which is proportional to the intensity of the current to be measured, whereby at least one differential module (14) is intended, in order to subtract the two voltages (V , V') at the output of the measuring modules (11, 11') and to provide a differential voltage (V_{diff}), which is intended to be processed in a processing module (18), in order to provide a measured intensity value, characterized by the fact that it exhibits a balance module (20) for the two measuring modules (11, 11'), whereby the balance module (20) is arranged in such a way for correcting the voltage (V , V') at the output of at

least one of the measuring modules (11, 11'), that the differential module (14) provides a differential voltage (V_{diff}) equal zero, if the Hall effect sensors (8, 8') of the two measuring modules (11, 11') are subjected to an identical polarity (B_{eq}) with the same polarity sign.

2. Measuring device according to claim 1, characterized by the fact that the balance module (20) exhibits two coils connected in series (9, 9'), whereby each coil is attached above a Hall effect sensor (8, 8') and the same current will run through the coils (9, 9') and the coils are arranged in such a way that they create in each Hall effect sensor (8, 8') the identical polarity (B_{eq}) with the same polarity sign.
3. Measuring device according to claim 2, characterized by the fact that the balance module (20) exhibits at least one comparator (19) which is arranged in such a way that it provides a rectangular pulse and which exhibits at least one compensating control unit (21), which is intended for the reception of the rectangular pulse and which is arranged in order to adjust the polarization current (I_{pol} , I_{pol}') of the Hall effect sensor (8, 8') of at least one measuring module (11, 11') up to the suppression of the rectangular pulse at the output of the comparator (19).
4. Measuring device according to claim 1, characterized by the fact that it exhibits at least one calibration module (22), which is arranged for correcting the voltages (V , V') at the output of the two measuring modules (11, 11') around an amplification factor (K_{cal}) in dependence on the size of the intensity of the current to be measured.
5. Measuring device according to one of the preceding claims, characterized by the fact that it consists of an integrated circuit on a silicon chip (3), whereby at least the measuring modules (11, 11'), the differential module (14), the balance module (20) and the calibration module (22) are formed in the silicon chip (3).
6. Measuring device according to claim 5, characterized by the fact that the silicon chip (3) is located in an isolation housing (4) provided with connecting straps (5), whereby the silicon chip (3) is connected by means of electrical connection cords (6) with the connecting straps (5).
7. Measuring device according to claim 6, characterized by the fact that it exhibits at least one strip conductor (2) formed on or in the silicon chip (3), of which the electrical conductor to be measured consists.
8. Measuring device according to claim 7, characterized by the fact that the strip conductor (2) exhibits a narrowed middle part and that the Hall effect sensors (8, 8') are arranged on both sides of this middle part.